

# 태양광 발전 시스템에 적용되는 단상 및 3-레벨 부스트컨버터의 특성 비교 분석 및 구현

김철민\*, 김효성\*\*, 김종수\*†

대진대학교 전기공학과\*, 공주대학교 전기전자제어공학부\*\*

## Comparative Analysis and Implementation of Single-Phase and Three-Level Boost Converter Applied to PV System

Cheol-Min Kim\*, Hyo-Sung Kim\*\*, Jong-Soo Kim\*†

Department of Electrical Engineering, Daejin University\*

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Kongju National University\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 태양광 발전 시스템에 적용되는 단상 및 3-레벨 부스트 컨버터의 특성을 비교 분석 및 구현한다. 기존의 전통적인 단상 부스트 컨버터와 3-레벨 부스트 컨버터를 전력밀도와 효율 측면에서 비교 분석하고 이를 Simulation 및 20kW 급 프로토타입 구현을 통해 검증한다. 실험을 통해 3-레벨 부스트 컨버터가 단상 부스트 컨버터에 비해 0.5% 높은 효율과 17% 높은 전력밀도를 가지는 것을 확인하였다.

### 1. 서론

태양광 발전 시스템에서 단상 부스트 컨버터를 사용하는 경우 상대적으로 적은 소자를 사용하여 회로구성이 가능하지만 스위치에 걸리는 전압 스트레스가 약 1100[V]로 크기 때문에 일반적으로 IGBT가 사용되어 스위칭 주파수를 높이는 데 제한이 생긴다. 3-레벨 부스트 컨버터의 경우 구성에 필요한 소자의 개수는 증가하지만 스위치에 걸리는 전압 스트레스가 단상 부스트 컨버터에 비해 절반으로 줄어들기 때문에 MOSFET을 사용해 스위칭 주파수를 증가시키는 것이 가능해진다. 결과적으로 3-레벨 부스트 컨버터의 인덕터의 크기는 감소하고 스위치 전압격은 낮아져 전력밀도 및 효율의 향상이 가능하다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 동일 사양의 20kW급 단상 부스트 컨버터와 3-레벨 부스트 컨버터를 구성하여 비교하고 시뮬레이션 및 실험을 통해 전력밀도 및 효율의 향상을 검증한다.

### 2. 단상 및 3-레벨 부스트 컨버터

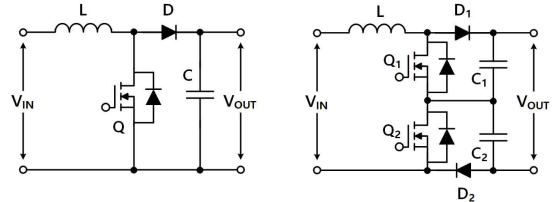
그림 1은 각각 단상 부스트 컨버터와 3-레벨 부스트 컨버터의 회로 구성을 나타내며 사용되는 소자의 개수는 표 1과 같다. 단상 부스트 컨버터가 스위치 ON, OFF에 따라 두 가지 모드로 번갈아 동작하는 것과 달리 3-레벨 부스트 컨버터는 그림 2와 같이 듀티가 50% 이상인 경우와 50% 미만인 경우로 동작 모드가 나뉘게 되며 듀티가 50% 이상인 경우의 동작모드는 아래와 같다.

**모드 1** ( $t_0 < t < t_1, t_2 < t < t_3$ ) : 스위치  $Q_1, Q_2$ 가 동시에 ON되어 인덕터에 에너지를 저장한다. 다이오드  $D_1, D_2$ 는 모두 역방향 바이어스 되고 출력커패시터  $C_1, C_2$ 가 방전되어 출력전압을 형성한다.

표 1 토폴로지에 따른 소자 개수

Table 1 Number of Components by topology

	Switch	Diode	Capacitor	Inductor
Single Phase	1	1	1	1
3-Level	2	2	2	

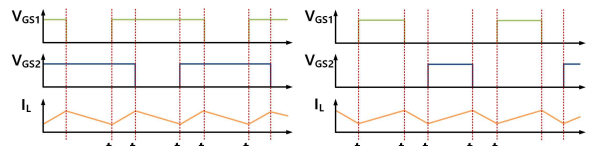


(a) Single Phase

(b) 3-Level

그림 1 단상 및 3-레벨 부스트 컨버터 회로

Fig. 1 Schematic of single phase and 3-level boost converter



(a) 듀티 50% 이상

(b) 듀티 50% 미만

그림 2 3-레벨 부스트 컨버터 동작 모드 파형

Fig. 2 Operation mode waveform of 3-level boost converter

**모드 2** ( $t_1 < t < t_2$ ) : 스위치  $Q_1$ 이 ON,  $Q_2$ 가 OFF되고 다이오드  $D_1$ 은 역방향 바이어스,  $D_2$ 는 모두 순방향 바이어스가 된다. 커패시터  $C_1$ 이 방전되어 출력전압을 형성하고  $C_2$ 는 인덕터에서 방출된 에너지에 의해 충전된다.

**모드 3** ( $t_3 < t < t_4$ ) : 스위치  $Q_1$ 이 OFF,  $Q_2$ 가 ON되고 다이오드  $D_1$ 은 순방향 바이어스,  $D_2$ 는 모두 역방향 바이어스가 된다. 커패시터  $C_1$ 이 인덕터에서 방출된 에너지에 의해 충전되고  $C_2$ 는 방전되어 출력전압을 형성한다.

듀티가 50% 미만인 경우에는 **모드 1**이 존재하지 않고 그림 2(b)에서 나타내는 것처럼 스위치 두 개가 동시에 OFF 된 상태로 대체된다. 이 구간에서 다이오드  $D_1, D_2$ 는 순방향 바이어스 되며 인덕터의 저장된 에너지가 방출하게 된다.

3-레벨 부스트컨버터의 경우 단상 부스트 컨버터에 비해 스위치에 걸리는 전압이 절반이 되어 IGBT가 아닌 MOSFET이 사용 가능해지므로 스위칭 주파수를 증가시킬 수 있고, 스위치

두 개로 동작하여 인덕터측 주파수가 두 배가 된다. 따라서 부스트 컨버터의 인덕턴스를 구하는 식(1)에서 스위칭 주파수  $f$ 가 증가됨에 따라 인덕턴스  $L$ 이 감소하고 인덕터의 크기를 줄이는 것이 가능해진다.

$$L = \frac{V_i}{\Delta I_L} DT \rightarrow L = \frac{V_i}{\Delta I_L} D \times \frac{1}{f} \quad (1)$$

### 3. 모의실험 및 결과

표 2 단상 및 3-레벨 부스트 컨버터 설계 값  
Table 2 Design parameter of Single phase and 3-level boost converter

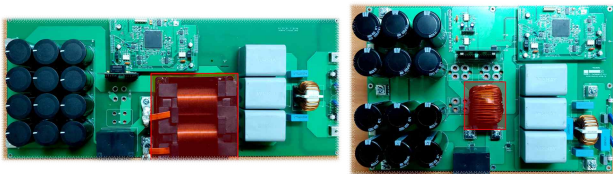
Parameter	Single Phase Boost Converter	3-Level Boost Converter
Power	20[kW]	20[kW]
Switch	IGBT	MOSFET
Input Voltage	250-1100[V]	
Output Voltage	685[V] *MAX 1100[V]	
Switching Frequency	20[kHz]	50[kHz]
Inductance	2.134[uH]	990[uH]
Capacitance	750[uF]	750[uF]

단상 부스트 컨버터와 3-레벨 부스트 컨버터는 표 1의 설계 값을 적용하여 PSIM 시뮬레이션을 통해 정상동작하는 것을 확인하였다.

그림 4는 설계값을 기반으로 제작한 프로토타입으로 표 3을 통해 3-레벨 부스트 컨버터가 단상 부스트 컨버터에 비해 전력밀도가 17% 증가한 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 각 부스트 컨버터 동작에 따른 스위치 게이트-소스 및 출력 전압-전류를 나타낸 것이다. 그림 6(a)는 입력전압 250[V], 출력전압 685[V]조건에서 1.6[kW]부터 8.2[kW]까지 Load Regulation을 진행한 것이고 그림 6(b)는 부하 3.4[kW], 출력전압 685[V] 조건에서 입력전압을 250[V]부터 580[V]로 가변하며 Line Regulation을 진행한 것으로 그림 6 각 과정을 통해 출력전압 제어가 원활히 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 입력전압 250[V], 경부하 조건에서의 효율 곡선으로 단상부스트 컨버터의

표 3 단상 및 3레벨 부스트 컨버터 크기  
Table 3 Size of single phase and 3-level boost converter

	가로	세로	높이	전력밀도
단상	500[mm]	210[mm]	62[mm]	3072[W/L]
3-레벨	370[mm]	250[mm]	60[mm]	3603[W/L]



(a) Single Phase (b) 3-Level

그림 4 단상 및 3레벨 부스트 컨버터 프로토타입  
Fig. 4 Single phase and 3-level boost Converter prototype



(a) Single Phase (b) 3-Level

그림 5 단상 및 3-레벨 부스트 컨버터 동작 파형  
Fig. 5 Single Phase and 3-level boost converter waveform



(a) Load Regulation



(b) Line Regulation

그림 6 단상 및 3-레벨 부스트 컨버터 실험 파형  
Fig. 6 Single Phase and 3-level boost converter experimental waveform

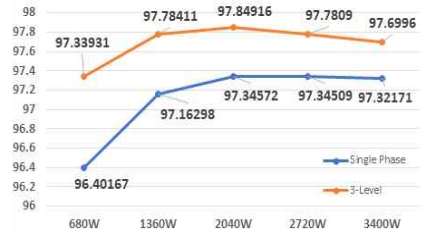


그림 7 부하변화에 따른 효율 곡선  
Fig. 7 Efficiency curve according to load change

효율은 최대 97.34%, 3-레벨 부스트 컨버터의 경우 최대 97.84%로 3-레벨 부스트 컨버터의 효율이 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있고 실험을 통해 현재 설정 가능한 최대 부하 조건인 8.2[kW]에서 최대 효율 98.95%를 만족함을 확인하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 태양광 발전 시스템에 적용되는 단상 및 3-레벨 부스트 컨버터의 특성을 비교 분석하고 20kW급 프로토타입을 제작하여 실험하였다. 3-레벨 부스트 컨버터가 단상 부스트 컨버터에 비해 전력밀도는 약 17% 높고, 효율은 약 0.5% 가량 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 추후, 더 높은 부하 조건에서 각 부스트 컨버터에 대한 효율을 비교 분석하고 태양광 발전 입력에 대해 MPPT 제어 등 추가적인 연구를 진행할 예정이다.

### 참고 문헌

[1] Chouki Balakishan, N. Sandeep, and M. V. Aware, "Design and Implementation of Three-Level DC-DC Converter with Golden Section Search Based MPPT for the Photovoltaic Applications," *Advances in Power Electronics*, vol. 2015, Article ID 587197, 9 pages, 2015.

[2] V. I. Meleshin, D. V. Zhiklenkov and A. A. Ganshin, "Efficient three-level boost converter for various applications," 2012 15th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), Novi Sad, 2012, pp. DS1e.9-1-DS1e.9-8.